



Caractérisation thermique de foyers de l'âge du Bronze de la grotte des Fraux (Dordogne)

Aurélie Brodard, Pierre Guibert, Francois Leveque, Vivien Mathé, Laurent Carozza, Albane Burens-Carozza

► To cite this version:

Aurélie Brodard, Pierre Guibert, Francois Leveque, Vivien Mathé, Laurent Carozza, et al.. Caractérisation thermique de foyers de l'âge du Bronze de la grotte des Fraux (Dordogne). Caractérisation thermique de foyers de l'âge du Bronze de la grotte des Fraux (Dordogne), Sep 2010, Saint-Georges-de-Didonne/Royan, France. pp.475-482. hal-00914028

HAL Id: hal-00914028

<https://hal.science/hal-00914028>

Submitted on 9 Jan 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Caractérisation thermique de foyers de l'âge du Bronze de la grotte des Fraux (Dordogne)

Aurélie BRODARD, Pierre GUIBERT, François LÉVÊQUE,
Vivien MATHÉ, Laurent CAROZZA et Albane BURENS

Résumé :

La grotte des Fraux (Dordogne, France), occupée à l'âge du Bronze, présente de nombreuses structures de combustion. Les questions relatives à la fonction du site et plus particulièrement des foyers, ont entraîné la mise en place d'une étude pluridisciplinaire de ces structures. L'objet de cet article est de présenter la méthodologie mise en œuvre pour l'étude de ces foyers. Elle s'appuie sur un couplage entre la thermoluminescence (TL) des grains de quartz et la susceptibilité magnétique principalement portée par les oxydes de fer contenus dans les sédiments (chauffés ou non). Pour chaque prélèvement, la TL permet d'obtenir une température équivalente (paléotempérature) par comparaison entre les courbes TL correspondantes et celles de références thermiques. La relation établie entre la paléotempérature et la susceptibilité magnétique permet de traduire la carte de susceptibilité magnétique en paléotempératures atteintes par le sédiment sur une surface étendue. L'objectif est de caractériser l'intensité de chauffe de ces foyers et, par une comparaison avec des feux expérimentaux, de contribuer à préciser la fonction de ce site.

Mots-clés :

Foyer, paléotempérature, susceptibilité magnétique, thermoluminescence

Thermal characterization of the Bronze Age hearths of the Les Fraux cave (Dordogne)

Abstract:

The Les Fraux cave (Dordogne, France) was occupied during the Bronze Age. It contained numerous hearth features. The questions related to the function of the cave and more particularly of the hearth features involved a multidisciplinary study of these remains. The aim of this paper is to present the methods applied for the study of the hearths. The analysis combined thermoluminescence (TL) of the quartz grains and magnetic susceptibility principally registered by the iron oxides contained in the sediments (whether heated or not). For each sample, the TL permits to obtain the corresponding temperature (palaeotemperature) by comparison between the TL curves of the samples and those of the thermal references. The relationship established between the palaeotemperature and the magnetic susceptibility allows converting magnetic susceptibility to palaeotemperatures reached by the sediment on a larger surface. This permits to characterize the intensity of heat attained in these hearths and to contribute to the determination of the function of this site through the comparison with experimental fires.

Keywords:

Hearth, palaeotemperature, magnetic susceptibility, thermoluminescence

La grotte des Fraux se situe en Dordogne, dans le Périgord vert, en la commune de Saint-Martin-de-Fressengeas (Carozza *et al.*, 2009). Elle a été découverte en 1989 par le propriétaire des lieux suite à l'effondrement d'une retenue d'eau collinaire. Le plafond de la grotte venait de céder, permettant la découverte d'un site occupé à la fin du Bronze moyen et au Bronze final. Le réseau

découvert s'étend sur plus de 1000 m de longueur en 2 branches de galeries. L'ensemble est orienté NO/SE et se ramifie horizontalement en boyaux et diverticules (*fig. 1*).

Le site est dans un état de conservation exceptionnel puisque l'entrée de la grotte s'est effondrée juste après son occupation à l'âge du Bronze. Elle

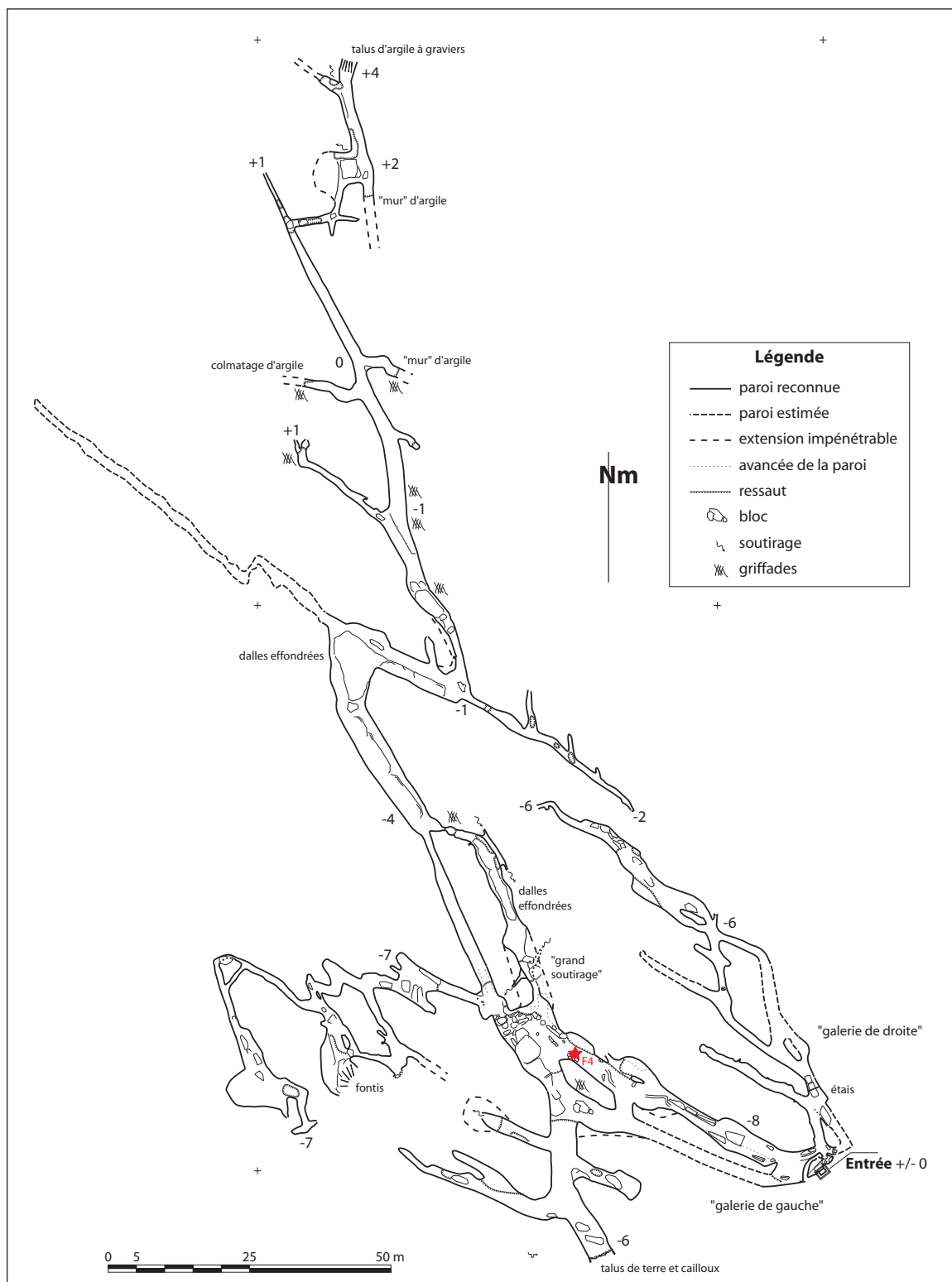


Figure 1 — Plan du réseau de la grotte des Fraux. Le foyer étudié est représenté par l'étoile rouge.



Figure 2 — Environnement du foyer F4 (secteur 13) au sein de la grotte des Fraux (© A. Burens). Photographie publiée avec l'aimable autorisation de Edmond Goineaud, propriétaire de la grotte des Fraux.

présente des sols de circulations, des structures de combustion, du mobilier archéologique ainsi que des œuvres pariétales qui forment un ensemble remarquable. La complexité du site nous a incités à engager une étude interdisciplinaire de cet ensemble afin de mieux appréhender sa fonction. Divers « chantiers » ont donc été mis en place : l'étude des sols et mobiliers archéologiques, le relevé des œuvres pariétales, le géoréférencement du site ainsi qu'un scan 3D de la majorité de la grotte permettant d'avoir la volumétrie du réseau, et enfin, l'étude des structures de combustion.

C'est dans cette dernière partie que s'inscrit la caractérisation thermique des foyers. L'objectif de cette approche est de développer une méthodologie d'étude des foyers pour estimer les paléotempératures atteintes par le substrat et caractériser l'intensité de chauffe des foyers. L'interprétation de la fonction de la grotte passant par celle de ses multiples foyers, nous espérons apporter un élément pertinent pour la compréhension du site.

De nombreux foyers jalonnent l'ensemble du réseau. Grâce à la très faible sédimentation postérieure à l'occupation de l'âge du Bronze, la plupart des foyers apparaissent sous forme de concentration de produits de combustion (cendres et charbons). Une structure construite a été identifiée (foyer F4, secteur 13). Elle est constituée d'une sole foynère, au cœur d'une zone rubéfiée et parsemée de blocs de grès plus ou moins gros et altérés (fig. 2).

Cette zone a notamment été choisie pour mettre en place le protocole de caractérisation de l'ensemble des foyers de la grotte qui s'appuie sur un couplage entre la susceptibilité magnétique et la thermoluminescence (TL).

Méthodologie, principes et équipements

Description générale de la méthodologie mise en place pour l'étude des foyers

Tout d'abord, une carte de susceptibilité magnétique du foyer a été réalisée *in situ*. Ces données nous ont permis de choisir l'emplacement des prélèvements suivant des gradients de susceptibilité magnétique. Un échantillon de sédiment non chauffé a aussi été prélevé pour la réalisation des références thermiques auxquelles seront comparés les échantillons du foyer.

Après avoir extrait les grains de quartz du sédiment, le signal TL du quartz de chaque échantillon a été mesuré. La comparaison entre le signal TL des prélèvements du foyer et celui des références thermiques permet de déterminer les paléotempératures de chaque échantillon.

Enfin, en étalonnant la susceptibilité magnétique en termes de paléotempératures et la carte de température de l'ensemble de la zone du foyer peut être dressée.

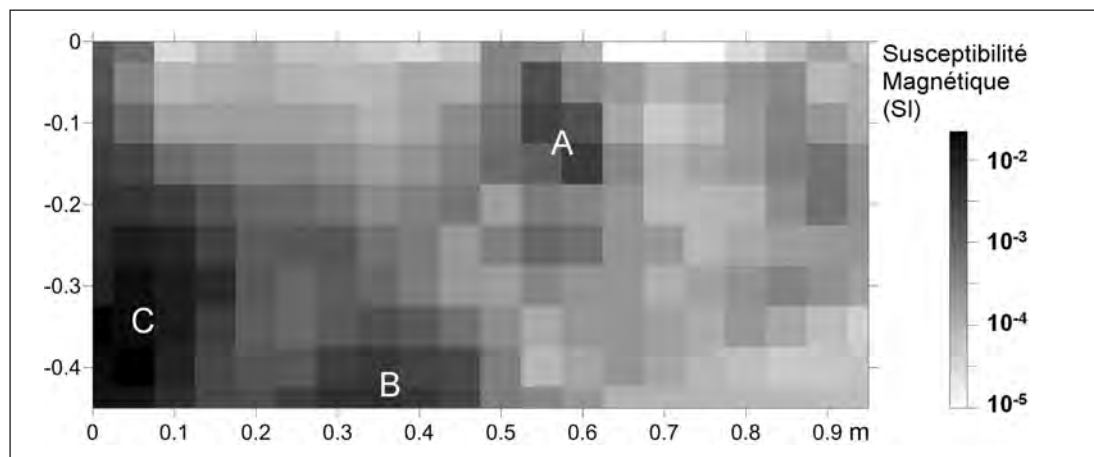


Figure 3 — Carte de susceptibilité magnétique réalisée sur le foyer F4.

Thermoluminescence

Le phénomène de TL correspond à l'émission de photons lumineux lors de la chauffe d'un minéral qui a été soumis dans le passé à des radiations ionisantes (McKeever et Chen, 1997). La TL est habituellement utilisée en chronologie pour dater des matériaux chauffés. Dans le cadre de notre étude, c'est la propriété de variation du signal TL avec les conditions de chauffe archéologique (Valladas, 1981 ; Roque *et al.*, 2004 ; Lahaye *et al.*, 2006 ; Vieilleigne *et al.*, 2007) qui est à la base des déterminations des températures équivalentes atteintes par le substrat. La notion d'équivalence est ici introduite puisque la température et la durée de chauffe sont des paramètres conjugués qui entrent en jeu pour les modifications du signal TL.

Les mesures de TL sont réalisées avec un appareil construit au laboratoire de Bordeaux. Les principales parties de cet appareil sont : un plateau tournant capable d'accueillir 24 prises d'essai différentes, une source beta de ^{90}Sr utilisée pour irradier le matériau, un four surmonté par des filtres optiques, une tube photomultiplicateur (EMI 9813 QA) et un système d'amplification et d'enregistrement du signal en fonction de la température. En effet, une mesure consiste à enregistrer le signal TL provoqué par la chauffe des grains de quartz à 4°C/s de la température ambiante à 500°C . Cette chauffe est effectuée en atmosphère inerte (azote).

Un four électrique (Eurotherm 2416CG, CARBOLITE) a été utilisé pour fabriquer les références

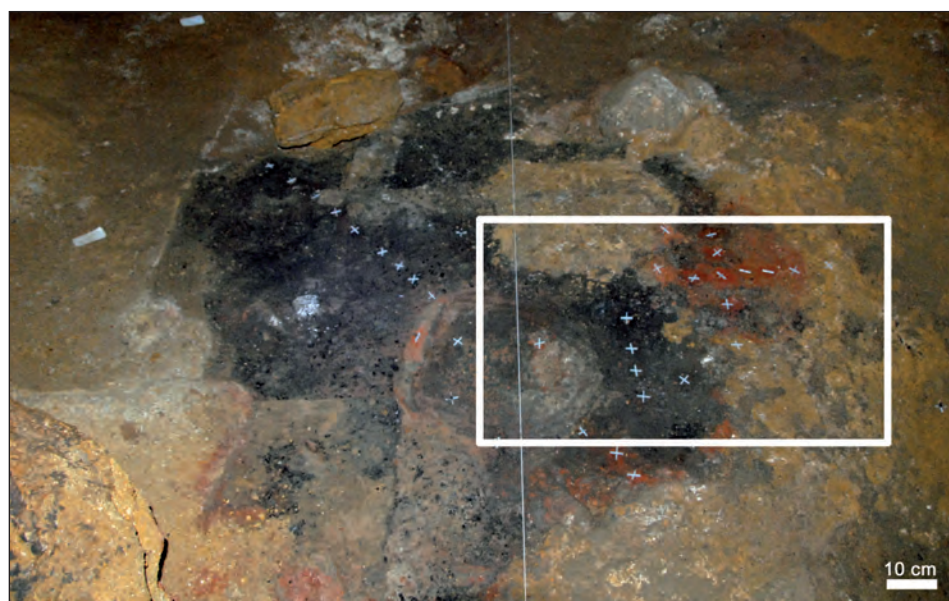


Figure 4 — Positionnement des prélèvements (croix blanches) et localisation de la carte de susceptibilité magnétique sur le foyer (© A. Burens). Photographie publiée avec l'aimable autorisation de Edmond Goineaud, propriétaire de la grotte des Fraux.

thermiques en chauffant du sédiment de la grotte selon un cycle thermique précis (décrit plus loin).

Susceptibilité magnétique

La susceptibilité magnétique traduit la capacité d'un matériau à porter une aimantation lorsqu'il est soumis à un champ magnétique. Cette grandeur permet, en champ faible, une mesure rapide, réalisable in situ, donnant des indications sur les variations de teneur en minéraux magnétiques.

De nombreux minéraux contiennent du fer. Parmi eux, les oxydes de fer (Cornell et Schwertmann, 2003) interviennent principalement dans la valeur de la susceptibilité magnétique mesurée. Par ordre décroissant de leur susceptibilité magnétique, on trouve la magnétite, la maghémite, l'hématite, la goethite, la lépidocrocite... Compte tenu des valeurs respectives de la susceptibilité magnétique (Hunt *et al.*, 1995), cette grandeur traduit principalement la variation de teneur en magnétite (ou sa forme oxydée, la maghémite) qui est de loin le minéral le plus magnétique.

L'élévation de température engendrée par le feu produit des transformations minéralogiques affectant en particulier ces oxydes de fer. Les trans-

formations et destructions observables dépendent des températures atteintes. Par exemple, la lépidocrocite et la goethite se déshydratent à des températures avoisinant les 300°C et peuvent créer de la magnétite en milieu réducteur ou de l'hématite en milieu oxydant (Cudennec et Lecerf, 2005). Le feu consommant l'oxygène présent, une zone chauffée est donc caractérisée par de fortes valeurs de la susceptibilité magnétique correspondant à la néoformation de magnétite. Plus les températures atteintes seront élevées, plus les valeurs de susceptibilité magnétique du substrat seront fortes, du moins jusqu'à des températures classiquement atteintes par un foyer.

Les mesures de susceptibilité magnétique in situ ont été réalisées avec un susceptibilimètre de contact : le KT-9, Exploranium.

Résultats

Carte de susceptibilité magnétique et prélèvements

La carte de susceptibilité magnétique réalisée pour le foyer F4 (fig. 3) laisse apparaître trois zones de forte susceptibilité magnétique donc de forte température.

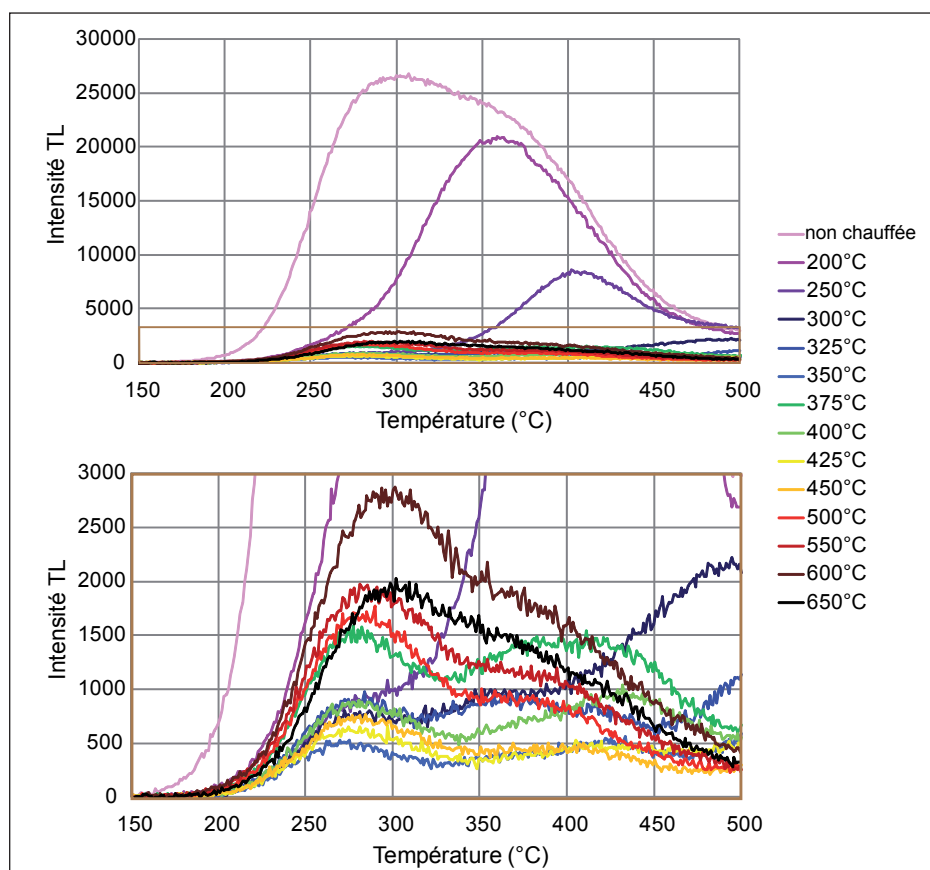


Figure 5 — Evolution du signal TL des références thermiques.

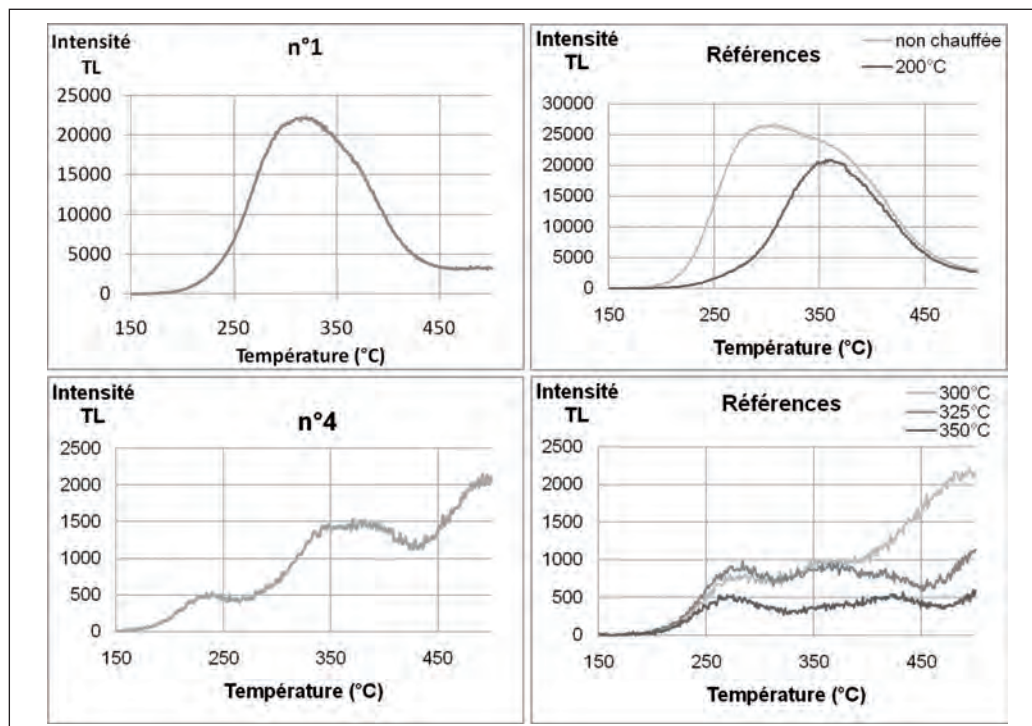


Figure 6 — Exemple de comparaison des signaux TL pour deux prélèvements. Le n° 1 n'a été que très peu chauffé alors que le n° 4 a été chauffé autour de 325°C.

Sur la base de cette carte et suivant des gradients de susceptibilité magnétique observés, des prélèvements ont été effectués en vue d'une détermination des paléotempératures par TL. Ces prélèvements s'effectuent sur une profondeur d'environ 1 cm et représentent de l'ordre de un ou deux grammes de sédiment. Ils sont matérialisés sur la figure 4 par des croix blanches.

Nous avons aussi prélevé du sédiment non chauffé pour constituer le référentiel thermique auquel comparer les prélèvements du foyer.

Référentiel thermique

L'estimation des paléotempératures atteintes par l'encaissant passe par la constitution d'un référentiel thermique. Du sédiment de la grotte, donc de mêmes origines géologiques que les prélèvements du foyer, est chauffé dans un four électrique en atmosphère d'air suivant un cycle bien déterminé : à savoir, une montée en température à 20°C/min, un palier d'une heure à la température maximale choisie et un refroidissement lent de 2°C/min. Les températures des

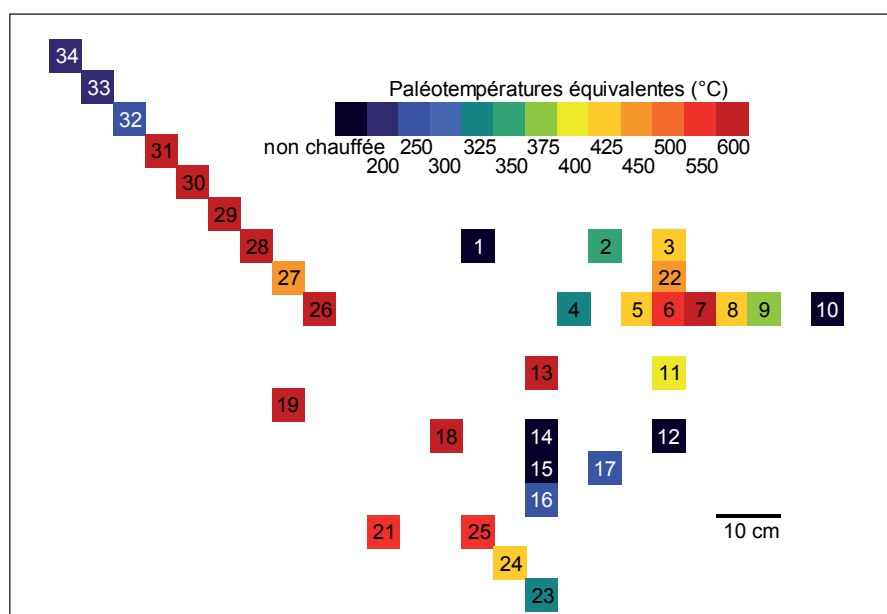


Figure 7 — Températures équivalentes attribuées à chaque échantillon replacé dans l'espace.

références s'échelonnent de 200°C à 650°C en ayant gardé du sédiment non chauffé comme témoin. Ces paramètres thermiques ont été choisis pour correspondre au mieux à ceux de feux réels (Werts et Jarhen, 2007 ; Carrancho et Villalaín, 2008).

Pour pouvoir comparer le signal TL des références avec celui des échantillons du foyer, il a fallu simuler sur les grains de quartz des références l'irradiation naturelle reçue par les grains de quartz du sédiment support du foyer depuis la dernière chauffe à l'âge du Bronze. Pour cela, après que chaque référence ait été créée, nous les avons irradiées (12 Gy) grâce à une source beta pour leur appliquer la dose supposée reçue depuis l'âge du Bronze par leur environnement naturellement radioactif, puis chauffés dans l'appareil de TL jusqu'à 230°C par une rampe de chauffe à la vitesse de 4°C/s pour supprimer les composantes du signal TL de faible durée de vie qui n'existent pas dans le signal naturel des échantillons du foyer.

La figure 5 montre l'évolution du signal TL des références thermiques. L'intensité du signal décroît très fortement dès que la température augmente et le maximum se déplace vers les hautes températures. À partir de 300°C, un nouveau maximum apparaît qui croît en intensité quand la température de chauffe des grains de quartz augmente. Les courbes TL des grains de quartz extraits des sédiments de la grotte des Fraux présentent donc une variabilité de forme en fonction de l'état de chauffe qui peut être exploitée pour déterminer les paléotempératures atteintes.

Détermination des paléotempératures

La comparaison entre le signal TL des prélèvements et celui des références thermiques permet d'attribuer une paléotempérature à chaque prélèvement. C'est la similitude de la forme générale des courbes qui est ici regardée. Une phase de comparaison

visuelle a été le préliminaire à l'utilisation d'une classification hiérarchique pour attribuer une température équivalente à chaque prélèvement. Cette classification permet de comparer point à point les courbes TL des échantillons et des références. Quatre groupes se distinguent clairement : (i) non chauffé et 200°C, (ii) 250°C, (iii) 300°C à 450°C, (iv) 500°C à 650°C ; qui combinés aux observations visuelles permet l'attribution d'une température. La figure 6 montre deux exemples de comparaison entre les signaux TL d'un échantillon avec ceux des références les plus proches. L'échantillon n°1 n'a pas été chauffé alors que le n°4 a été chauffé à 325°C environ.

La figure 7 représente les températures équivalentes attribuées à chaque échantillon et placées suivant leur localisation.

Couplage entre paléotempérature et susceptibilité magnétique

La mise en relation de la température équivalente de chaque échantillon avec sa susceptibilité magnétique fait apparaître une relation. Celle-ci permet d'associer des températures aux valeurs de susceptibilité magnétique. De la sorte, une carte en température du foyer peut être établie sur la base des mesures de susceptibilité magnétique réalisées *in situ* (fig.8). Les zones chauffées sont maintenant caractérisées par des températures équivalentes donnant une information sur l'intensité de la chauffe des sédiments.

Conclusion et perspectives

L'étude de foyers de la grotte des Fraux montre qu'il est possible d'établir une carte des paléotempératures équivalentes d'une structure de combustion de

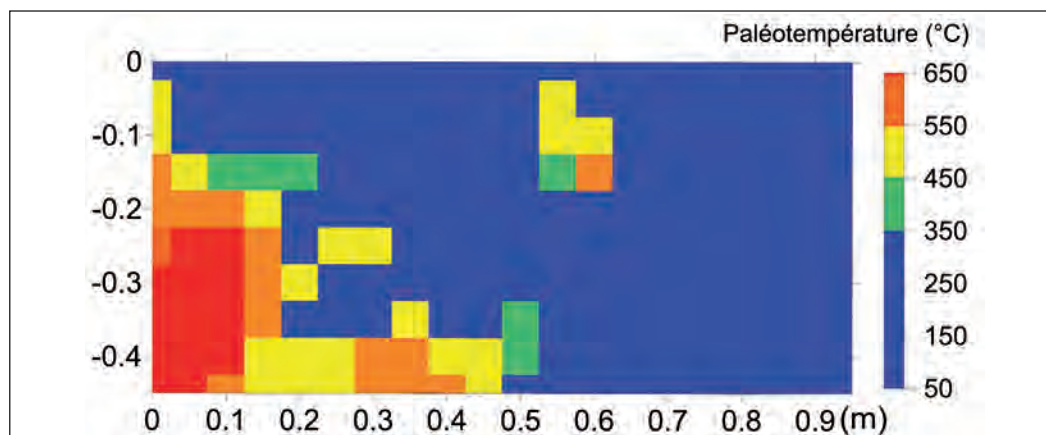


Figure 8 — Carte de température équivalente établie à partir de la cartographie de susceptibilité magnétique.

surface étendue par un couplage de mesures de thermoluminescence et de susceptibilité magnétique.

Pour la grotte des Fraux, le référentiel thermique (pour les grains de quartz de 200-500 μm) peut maintenant être utilisé comme référentiel à d'autres foyers gréseux présents sur le site. Pour des sédiments plus argileux, des mesures TL sur la fraction argileuse (3-12 μm) permettront la détermination des températures de certains foyers. Tant que les sédiments restent analogues, les références thermiques obtenues par TL sont utilisables et peuvent être couplées à des cartes de susceptibilité magnétique réalisées sur d'autres foyers de la grotte.

La méthodologie développée à la grotte des Fraux est transposable à d'autres sites. Pour cela, il est nécessaire d'une part que le sédiment étudié contienne du fer. S'il n'en possède pas, les mesures de susceptibilité magnétique seront inexploitable. D'autre part, il faut disposer de matériau non chauffé, de même origine géologique que celui des foyers, afin de pouvoir établir un référentiel thermique pour la TL.

Pour compléter cette étude, une série de feux expérimentaux instrumentés permettra, dans un premier temps de valider notre démarche (carac-

térisation de la correspondance entre l'histoire thermique réelle de l'échantillon et sa température équivalente) ; dans un second temps, cette expérimentation a pour objectif de comparer les effets de la chauffe sur le substrat entre les feux archéologiques et les feux expérimentaux afin d'établir une classification des feux suivant leur taille, leur intensité de chauffe, les quantités de combustibles nécessaires... Ces informations nous permettront ainsi de définir des paramètres limitants pour un modèle de feux en milieu souterrain qui apportera des éléments sur les conditions de vie dans la grotte (chaleur, lumière, fumée...).

Remerciements

Pour leur soutien financier, nous voulons remercier : les Universités de Bordeaux et La Rochelle, le CNRS (INEE via le SEEG et INSHS), le Service Régional de l'Archéologie d'Aquitaine, le Conseil Régional d'Aquitaine, la Mairie de Saint-Martin-de-Fressengeas.

Nous remercions aussi particulièrement Edmond et Marcelle Goineaud (propriétaire de la grotte) pour leur confiance et leur accueil.

Bibliographie

Carozza L., Burens A., Billaud Y., Ferrulo O., Bourrillon R., Petrognani S., Fritz C., Tosello G., Goineaud E. et M.

2009 : L'horizontal et le vertical : l'âge du Bronze de la grotte des Fraux (Saint-Martin-de-Fressengeas - Dordogne). In : *De Méditerranée et d'ailleurs... Mélanges offerts à Jean Guilaine*, Archives d'écologie préhistorique Toulouse, 2009, p. 159-172.

Carrancho A., Villalain J.J.

2008 : Estudio experimental de las transformaciones en la mineralogía magnética en fuegos prehistóricos y sus implicaciones en Arqueomagnetismo. *Geotemas*, n° 10, p. 1-4.

Cornell R.M., Schwertmann U.

2003 : *The Iron Oxides - Structures, Properties, Reactions, Occurrences and Uses*. Weinheim, Wiley-Vch, 573 p.

Cudennec Y., Lecerf A.

2005 : Topotactic transformations of goethite and lepidocrocite into hematite and maghemite. *Solid State Sciences*, n° 7, p. 520-529.

Hunt C.P., Moskowitz B.M., Banerjee S.K.

1995 : Magnetic Properties of Rocks and Minerals. In : T.J. Arhens (dir.), *Rock Physics and Phase Relations - A Handbook of Physical Constants*, p. 189-204.

Lahaye C., Godfrey-Smith D. I., Guibert P., Bechtel F.

2006 : Equivalent thermal history (HE) of ferruginous

sandstones based on the thermal activation characteristics of quartz. *Radiation Measurements*, n° 41, p. 995-1000.

McKeever S.W.S., Chen R.

1997 : Luminescence models. *Radiation Measurements*, n° 27 (5/6), p. 625-661.

Roque C., Guibert P., Duttine M., Vartanian E., Chapoulie R., Bechtel F.

2004 : Dependence of luminescence characteristics of irradiated quartz with the thermal treatment and consequences for TL dating. *Geochronometria - Journal on Methods and Applications of Absolute Chronology*, n° 23, p. 1-8.

Valladas H.

1981 : Thermoluminescence de grès de foyers préhistoriques : estimation de leur température de chauffe. *Archaeometry*, n° 23, p. 221-229.

Vieilleveigne E., Guibert P., Bechtel F.

2007 : Luminescence chronology of the medieval citadel of Termez, Uzbekistan: TL dating of bricks masonries. *Journal of Archaeological Science*, n° 34, p. 1402-1416.

Werts S.P., Jarhen A.H.

2007 : Estimation of temperature beneath archaeological campfires using carbon stable isotope composition of soil organic matter. *Journal of Archaeological Science*, n° 34, p. 850-857.